4-Ч

УДК 004.942

***Н.В. Чарковська*[1], *Р.А. Бунь*[1,2]**
[1]Національний університет «Львівська політехніка», Україна
Україна, 79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12
[2] Академія бізнесу, м. Домброва Гурніча, Польща

Аналіз невизначеності результатів моделювання процесів емісії парникових газів від виробництва металів у Польщі

***N.V. Charkovska*[1], *R.A. Bun*[1,2]**
[1] Lviv National Polytechnic University, Ukraine
Ukraine, 79013, c. Lviv, st. Stepana Bandery, 12
[2] Academy of Business in Dąbrowa Górnicza, Poland

Analysis of Uncertainty of the Results of Modeling of Greenhouse Gas Emissions Processes from Metal Production in Poland

***Н.В. Чарковськая*[1], *Р.А. Бунь*[1,2]**
[1]Национальный университет «Львовская политехника», Украина
Украина, 79013, г. Львов, ул. Степана Бандеры, 12
[2] Академия бизнеса, г. Домброва Гурнича, Польша

Анализ неопределенности результатов моделирования процессов эмиссии парниковых газов от производства металлов в Польше

В статті представлено розроблені математичні моделі процесів емісії парникових газів від металургійної промисловості Польщі. У результаті обчислювальних експериментів отримано оцінки емісій парникових газів на рівні підприємств з виробництва металів, просторові кадастри емісій проілюстровані на цифрових картах. Розроблено програмний інструментарій для оцінювання невизначеностей емісій парникових газів та здійснено їх аналіз.
Ключові слова: моделювання, просторовий аналіз, емісія парникових газів, невизначеність, металургійна промисловість.

In this article the mathematical models of greenhouse gas emission processes from the iron and steel industry in Poland have been presented. In the result of numerical experiments the estimates of greenhouse gas emissions on the level of metal production plants have been obtained, spatial cadastres of emission have been illustrated as digital maps. The software tools for the assessment of the uncertainties of greenhouse gas emissions have been developed and their analysis has been carried out.
Key words: modeling, spatial analysis, greenhouse gas emission, uncertainty, iron and steel industry.

В статье разработаны математические модели процессов эмиссии парниковых газов от металлургической промышленности Польши. В результате вычислительных экспериментов получены оценки эмиссий парниковых газов на уровне предприятий по производству металлов, пространственные кадастры эмиссий проиллюстрированы на цифровых картах. Разработан программный инструментарий для оценивания неопределенностей эмиссий парниковых газов и осуществлен их анализ.
Ключевые слова: моделирование, пространственный анализ, эмиссия парниковых газов, неопределенность, металлургическая промышленность.

Вступ

У світлі проблеми зміни клімату значна частка належить антропогенній складовій. Людство веде активну господарську діяльність, зокрема, спалює викопне паливо для енергетичних цілей, на потреби виробництва промислової продукції, таким чином емітуючи в атмосферу нашої планети надмірну кількість антропогенних парникових газів (вуглекислого газу, метану, закису азоту тощо). Як результат такої діяльності підсилився парниковий ефект, що стало причиною глобального потепління на Землі. З метою зменшення концентрації парникових газів встановлено обмеження на викиди для індустріально розвинутих країн згідно з Кіотським протоколом до Рамкової Конвенції ООН з питань зміни клімату [1].

Частка промисловості в сукупних емісіях парникових газів є досить високою. Емісії в цьому секторі спричинені хімічною та фізичною трансформацією матеріалів при виробництві промислової продукції. Згідно з міжнародною класифікацією категорій джерел емісії парникових газів [2], [3] у промисловому секторі виділяють ряд підсекторів: виробництво мінеральних речовин, хімічних речовин, металів, целюлозно-паперова та харчова промисловість, виробництво та споживання перфторвуглеців, гідрофторвуглеців та гексафториду сірки. У цій статті розглянуто процеси емісії парникових газів на металургійних підприємствах Польщі, які виробляють чавун та сталь, алюміній, феросплави, цинк та свинець. Відповідно до національного звіту з інвентаризації парникових газів за 2010 рік [4] лідером щодо емісій у цьому підсекторі є категорія «Виробництва чавуну та сталі» (94%).

У процесі інвентаризації парникових газів усі використовувані дані (статистичні дані та коефіцієнти емісії) мають певну невизначеність – величину, що вказує на відсутність визначеності в складових інвентаризації в результаті довільних випадкових факторів. Великі значення невизначеностей для крупних джерел емісії, наприклад, підприємств металургійної промисловості, що мають значний вплив на загальну невизначеність, можуть стати перешкодою для вироблення оптимальних стратегій щодо скорочення емісій та виконання міжнародних зобов'язань [5].

Тому актуальною науковою задачею є вироблення підходів до просторової інвентаризації парникових газів в окремих регіонах певної країни, а також розробка математичних моделей емісійних процесів для всіх категорій господарської діяльності. Просторова інвентаризація парникових газів ніколи не проводилася для промислового сектору Польщі. **Метою цієї статті** є розробка математичних моделей емісійних процесів, створення геоінформаційної технології їх реалізації з метою здійснення просторового моделювання та аналізу емісій від виробництва металів у Польщі, розробка програмного інструментарію для оцінювання невизначеностей результатів моделювання.

Специфіка джерел емісії парникових газів

Відповідно до методик IPCC [3] у секторі «Виробництво металів» розглядають низку категорій: виробництво чавуну та сталі, виробництво феросплавів, виробництво алюмінію, виробництво цинку та свинцю. Згідно з польським національним звітом з інвентаризації за 2012 рік [5] процеси емісії парникових газів на металургійних підприємствах диференціюють за типом виробленої продукції: окремо для агломератів, ливарного чавуну, переробного чавуну, ливарної сталі, переробної сталі у кисневих конверторах, переробної сталі у електричних дугових печах. У зв'язку з цим при дослідженні емісійних процесів також враховано відповідну диференціацію. Натомість таке розрізнення відсутнє для інших категорій досліджуваного сектору, наприклад, виробництва феросплавів.

У результаті аналізу інформації щодо металургійної промисловості Польщі [6], [7] виявлено, що в країні функціонує 5 великих компаній з виробництва чавуну, сталі та прокату. Беззаперечним лідером серед виробників є група ArcelorMittal Poland S.A., частка компанії на ринку виробництва виробів зі сталі становить близько 70%. До найбільших виробників металургійної промисловості після ArcelorMittal належать групи CMC Zawiercie, Celsa Huta Ostrowiec, ISD Huta Częstochowa та Złomrex. На півдні Польщі зосереджено 10 малих підприємств з виробництва прокатних виробів, серед них Huta Bankowa, Huta Buczek, Severstallat Silesia, Huta Łabędy, Ferrostal Łabędy, Zakład Walcowniczy Profil, BGH Polska, Huta Pokój.

Як відомо, обсяги виробництва сталі в 2010 році у киснево-конверторних печах склали 50,4% від загального виробництва сталі в країні, а у електричних дугових – 49,6% [8], [9]. На даний час у Польщі не функціонує жодного доменного цеху з виробництва сталі. Цікаво, що в Україні, яка займає третє місце в світі по експорту сталі, домінує мартенівський або доменний спосіб отримання сталі. Відповідно до опублікованої інформації в Польщі працюють 8 електричних дугових печей на підприємствах CMC Zawiercie S.A. (частка підприємства в загальному виробництві електричної сталі – 39,4%), CELSA ”Huta Ostrowiec” Sp. z o.o. (24,2%), Huta Stali Częstochowa Sp. z o.o. (21,2%), HSW Huta Stali Jakościowych Sp. z o.o. (12,1%), FERROSTAL Łabędy Sp. z o.o., Huta LW Sp z o.o. та Huta Batory S.A. (разом 3,1%).

Група ArcelorMittal представлена п’ятьма металургійними заводами, проте лише два заводи, а саме у містах Kraków та Dąbrowa Górnicza, працюють з повним металургійним циклом – виробляють три основні види продукції: чавун, сталь і прокат, решта три заводи – лише прокат. На цих двох заводах з повним металургійним циклом функціонують основні цехи: агломераційна фабрика зі спікання залізної руди, доменний цех з мартенівськими печами для виготовлення переробного та ливарного чавуну, сталеплавильний цех з кисневими конверторами для виготовлення сталі, цех для безперервного лиття сталі для виготовлення виливків та зливків, прокатний цех для виготовлення готових виробів методом прокату сталевих зливків. У табл. 1 представлено виробничі потужності цехів на двох інтегрованих заводах групи ArcelorMittal. Варто зазначити, що виробництвом агломератів та сталі у киснево-конверторних печах займаються лише два інтегровані заводи (табл. 1).

Всього у Польщі налічують 6 доменних печей, при чому 4 з них розміщені на 2 інтегрованих заводах (табл. 1), де отримують переробний чавун на потреби виробництва конверторної сталі. Крім того з переробного чавуну отримують ливарний чавун у доменній печі потужністю 200 тис. тон на підприємстві Odlewni Zeliwa „Srem” S.A.. Підприємство Stalmag Ltd. займається виробництвом доменного феромарганцю у доменній печі потужністю 100 тис. тон.

Таблиця 1 – Річні номінальні виробничі потужності заводів групи ArcelorMittal Poland S.A.

	Виробнича потужність, тис. тон	
Назва цеху	**Kraków**	**Dąbrowa Górnicza**
Агломераційна фабрика	8400	2160
Доменний цех з виробництво чавуну	4400	2000
Сталеплавильний цех з конверторами	5000	2600
Цех безперервного лиття сталі	3000	1800

Виробництвом феросплавів займається підприємство Huta Łaziska S.A., алюмінію – Huta Aluminium Konin, цинку та свинцю – ZM Silesia S.A., Huta Cynku "Miasteczko Śląskie", Zakłady Górniczo-Hutnicze „Boleslaw” S.A.

Математичні моделі емісійних процесів

Великі металургійні заводи є крупними точковими джерелами емісії парникових газів, тому потрібно якомога точніше локалізувати їх на цифровій карті для здійснення просторової інвентаризації парникових газів. З метою визначення географічного розташування основних металургійних заводів використано безкоштовний плагін Google Earth. Основними парниковими газами у металургії є вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4) та закису азоту (N_2O).

Для оцінювання величини емісії парникових газів від інтегрованих металургійних заводів їм поставлено у відповідність таку математичну модель:

$$\begin{aligned}
&E_{\mathrm{Int}}^{\mathrm{CO2}}(\zeta_r) = \left[F_{\mathrm{Sinter}}(\zeta_r)\cdot K_{\mathrm{Sinter}}^{\mathrm{CO2}}(\zeta_r) + F_{\mathrm{PigIron}}(\zeta_r)\cdot K_{\mathrm{PigIron}}^{\mathrm{CO2}}(\zeta_r) + F_{\mathrm{BOF}}(\zeta_r)\cdot K_{\mathrm{BOF}}^{\mathrm{CO2}}(\zeta_r)\right],\\
&E_{\mathrm{Int}}^{\mathrm{CH4}}(\zeta_r) = \left[F_{\mathrm{Sinter}}(\zeta_r)\cdot K_{\mathrm{Sinter}}^{\mathrm{CH4}}(\zeta_r) + F_{\mathrm{PigIron}}(\zeta_r)\cdot K_{\mathrm{PigIron}}^{\mathrm{CH4}}(\zeta_r) + F_{\mathrm{BOF}}(\zeta_r)\cdot K_{\mathrm{BOF}}^{\mathrm{CH4}}(\zeta_r)\right],\\
&E_{\mathrm{Int}}^{\mathrm{N2O}}(\zeta_r) = \left[F_{\mathrm{PigIron}}(\zeta_r)\cdot K_{\mathrm{PigIron}}^{\mathrm{N2O}}(\zeta_r) + F_{\mathrm{BOF}}(\zeta_r)\cdot K_{\mathrm{BOF}}^{\mathrm{N2O}}(\zeta_r)\right],\\
&\zeta_r \in \Xi_{\mathrm{IronSteel}}, r = \overline{1,R},
\end{aligned} \tag{1}$$

де $E_{\mathrm{Int}}^{\mathrm{CO2}}$, $E_{\mathrm{Int}}^{\mathrm{CH4}}$, $E_{\mathrm{Int}}^{\mathrm{N2O}}$ – річні емісії вуглекислого газу, метану та закису азоту від ζ_r-го інтегрованого металургійного підприємства, відповідно; F_{Sinter} – статистичні дані щодо обсягів виробництва залізорудного агломерату ζ_r-м підприємством; $K_{\mathrm{Sinter}}^{\mathrm{CO2}}$, $K_{\mathrm{Sinter}}^{\mathrm{CH4}}$ – коефіцієнти емісії вуглекислого газу та метану для агломерату; F_{PigIron} – обсяги виробництва переробного чавуну в доменних печах на ζ_r-му підприємстві; $K_{\mathrm{PigIron}}^{\mathrm{CO2}}$, $K_{\mathrm{PigIron}}^{\mathrm{CH4}}$, $K_{\mathrm{PigIron}}^{\mathrm{N2O}}$ – коефіцієнти емісії вуглекислого газу, метану та закису азоту для чавуну; F_{BOF} – статистична інформація щодо обсягів виробництва сирої сталі в кисневоконверторних печах на ζ_r-му підприємстві; $K_{\mathrm{BOF}}^{\mathrm{CO2}}$, $K_{\mathrm{BOF}}^{\mathrm{CH4}}$, $K_{\mathrm{BOF}}^{\mathrm{N2O}}$ – коефіцієнти емісії вуглекислого газу, метану та закису азоту для такої сталі; $\Xi_{\mathrm{IronSteel}}$ – множина інтегрованих металургійних підприємств; R – кількість таких підприємств.

У публікації [10] описано цикл інвентаризації при виробництві киснево-конверторної сталі на інтегрованому заводі у Кракові. Найкращі доступні технічні прийоми щодо скорочення емісій на металургійних підприємствах представлено у матеріалах [11].

Виробництво ливарної сталі може відбуватися як у електричних дугових печах, так і в індукційних. Процесам емісії парникових газів від виробництва ливарної сталі у електричних дугових печах поставлено у відповідність математичну модель:

$$\begin{aligned}
&E_{\mathrm{SteelCast}}^{\mathrm{CO2}}(\zeta_l) = \frac{44}{12}\cdot\left[F_{\mathrm{LiquidSteel}}(\zeta_l)\cdot K_{\mathrm{EAF}}(\zeta_l)\cdot\left(K_{\mathrm{EC}}(\zeta_l) + K_{\mathrm{CB}}(\zeta_l)\right)\right],\\
&\zeta_l \in \Xi_{\mathrm{SteelCast}}, l = \overline{1,L},
\end{aligned} \tag{2}$$

де $E_{\mathrm{SteelCast}}^{\mathrm{CO2}}$ – річні емісії вуглекислого газу від ζ_l-го підприємства з виробництва ливарної сталі; $F_{\mathrm{LiquidSteel}}$ – статистичні дані щодо обсягів виробництва рідкої сталі ζ_l-м підприємством; K_{EAF} – частка виробництва сталі для зливків у електричних печах; K_{EC} – коефіцієнт питомого споживання електродів на виробництво ливарної сталі у електричних дугових печах ζ_l-м підприємством [Mg електродів / Mg сталі];

K_{CB} – коефіцієнт згоряння вуглецю (С) у електричних печах на ζ_l-му підприємстві [Mg C / Mg сталі]; $\Xi_{\text{SteelCast}}$ – множина підприємств з виробництва ливарної сталі ; L – кількість таких підприємств.

При виробництві ливарного чавуну також мають місце емісії парникових газів. У дослідженні враховано лише емісії вуглекислого газу та метану в процесі плавлення сплавів, натомість емісії при виливанні рідкого чавуну у форми є незначними і їх не брали до уваги. Відповідні математичні моделі:

$$E_{\text{CastIron}}^{\text{CO}_2}(\zeta_m) = \frac{44}{100} \cdot \left[F_{\text{LiquidCastIron}}(\zeta_m) \cdot K_{\text{cupola}}(\zeta_m) \cdot K_{\text{CC}}(\zeta_m) \cdot K_{\text{CaCO}_3}(\zeta_m)\right],$$
$$E_{\text{CastIron}}^{\text{CH}_4}(\zeta_m) = F_{\text{LiquidCastIron}}(\zeta_m) \cdot K_{\text{LiquidCastIron}}^{\text{CH}_4}(\zeta_m),$$
$$\zeta_m \in \Xi_{\text{IronCast}}, m = \overline{1, M}, \qquad (3)$$

де $E_{\text{CastIron}}^{\text{CO2}}$, $E_{\text{CastIron}}^{\text{CH4}}$ – річні емісії вуглекислого газу та метану від ζ_m-го підприємства з виробництва ливарного чавуну, відповідно; $F_{\text{LiquidCastIron}}$ – статистичні дані щодо обсягів виробництва рідкого ливарного чавуну ζ_m-м підприємством; K_{cupola} – частка виплавки ливарного чавуну у вагранках (англ. «cupola», пол. «zeliwiak») ζ_m-м підприємством; K_{CC} – коефіцієнт питомого споживання коксу на виробництво ливарного чавуну ζ_l-м підприємством [Mg коксу / Mg чавуну]; K_{CaCO3} – частка вапняку ($CaCO_3$) у коксі; $K_{\text{LiquidCastIron}}^{\text{CH}_4}$ – коефіцієнт емісії метану від виробництва ливарного чавуну; Ξ_{IronCast} – множина підприємств з виробництва ливарного чавуну ; M – кількість таких підприємств.

Вхідними даними для математичних моделей (1) – (3) є відповідна статистична інформація на рівні країни щодо обсягів виробництва агломерату, чавуну, сталі, феросплавів, алюмінію, цинку та свинцю; виробничі потужності підприємств, а також специфічні коефіцієнти емісії парникових газів. Статистичні дані щодо обсягів виробництва готових промислових виробів отримано з даних Центрального статистичного управління Польщі [8], [9]. Коефіцієнти емісії парникових газів використано з польського національного звіту з інвентаризації [4].

Моделювання емісії вуглекислого газу від виробництва металів

Оцінювання емісій від металургійної промисловості має вкрай важливе значення для відображення структури емісій у промисловому секторі Польщі загалом. Серед досліджуваних категорій джерел емісії найбільше парникових газів емітується внаслідок виробництва чавуну в доменних печах, сталі в кисневих конверторах та електричних печах, та при спіканні залізної руди на агломераційних фабриках. У залежності від потреб та доступності даних інвентаризацію парникових газів можна проводити на різних рівнях: глобальному, національному, регіональному та для деяких ділянок території. Національна інвентаризація полягає у оцінюванні емісій парникових газів для окремо взятої країни. Інвентаризація парникових газів по окремих адміністративних одиницях деякої країни дає можливість підвищити ступінь деталізації емісій у розрізі окремо взятих територіальних одиниць, наприклад, воєводств Польщі. Суть гео-

інформаційного підходу до просторової інвентаризації емісій парникових газів полягає у виконанні двох послідовних етапів [1]: 1) поділі досліджуваної території (у нашому випадку – карти ґмін) на елементарні ділянки; 2) почерговому оцінюванні емісій для кожної з них з використанням розроблених математичних моделей. На відміну від попередніх рівнів у випадку просторової інвентаризації вхідні дані (статистична інформація, коефіцієнти емісії) та вихідні дані (значення емісії) відносяться до елементарної ділянки, тобто не є зосередженими у відношенні до великої території.

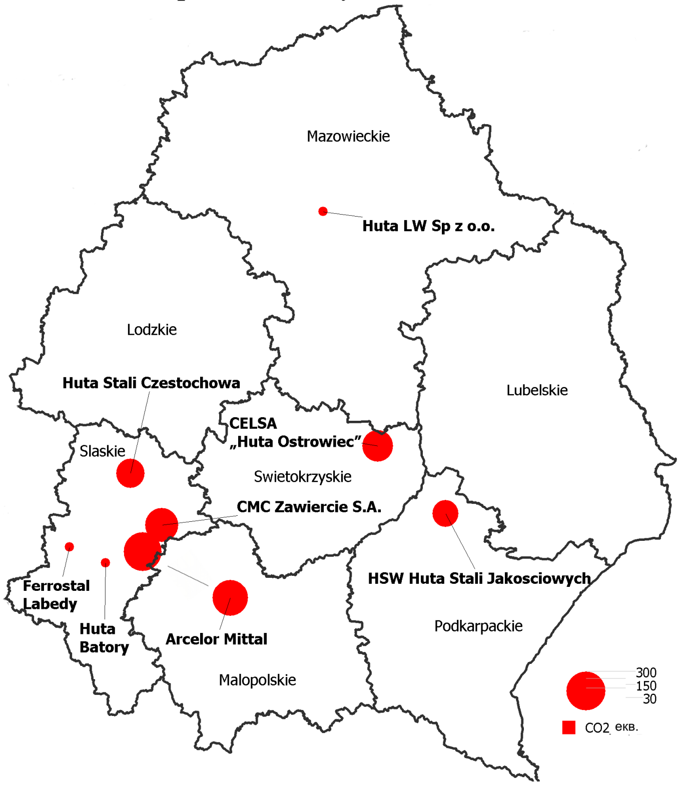


Рисунок 1 – Територіальний розподіл емісій (в CO_2-еквіваленті) від виробництва сирої сталі по заводах (тис. тон, 2010 р.)

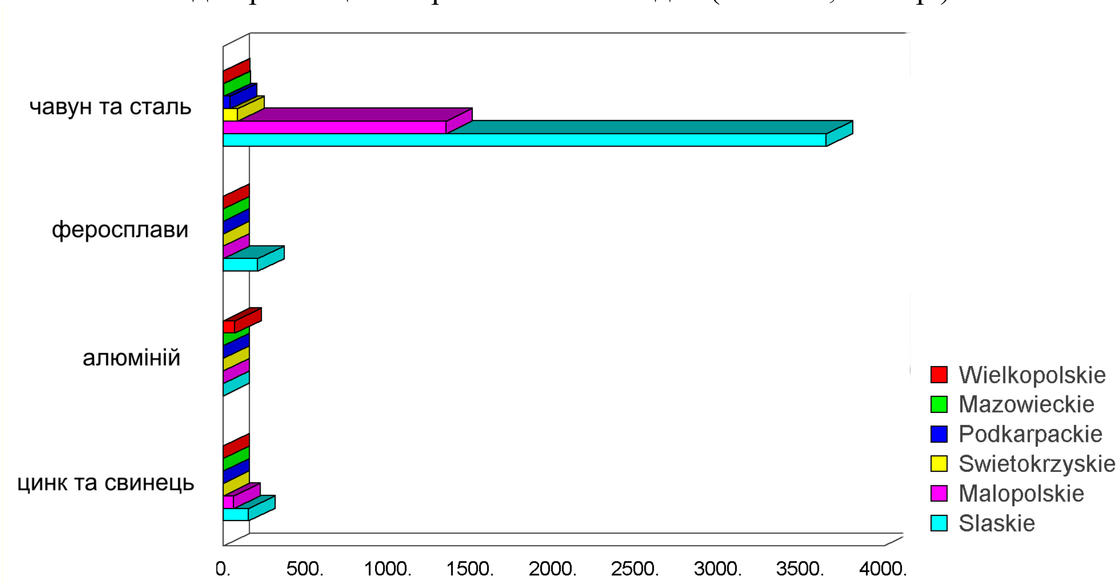


Рисунок 2 – Сумарні емісії (в CO_2-еквіваленті) від виробництва металів у Польщі по воєводствах (тис. тон, 2010 р.)

Наведені вище математичні моделі емісійних процесів програмно реалізовано у спеціалізованій геоінформаційній системі, що використовує статистичну інформацію щодо обсягів виробництва металів окремими заводами, їх специфічні коефіцієнти емісії та цифрові карти (карти адміністративних одиниць – гмін, повітів, воєводств). Уся інформація (статистичні дані, коефіцієнти емісії та інші параметри) зберігається у вигляді відповідних georозподілених баз даних, що містять прив'язку до географічних об'єктів – точок, що відповідають металургійним підприємствам Польщі.

У результаті обчислювальних експериментів отримано оцінки емісій парникових газів для всіх категорій металургійної промисловості. Наприклад, на рис. 1 представлено сумарні емісії в CO_2-еквіваленті від виробництва сталі на дев'яти підприємствах. Аналіз отриманих результатів свідчить, що найбільш промислово розвинутим є Південний регіон Польщі, зокрема Сілезьке воєводство (кількість підприємств – 5), а у Малопольському, Свентокшиському, Підкарпатському та Мазовецькому – лише по одному сталеплавильному заводу. Хімічні процеси при виробництві сталі на таких підприємствах спричиняють значні емісії вуглекислого газу (CO_2), дещо менше – метану (CH_4) і зовсім мало – закису азоту (N_2O). Для розрахунку сумарних емісій в CO_2-еквіваленті використано коефіцієнти глобального потепління для цих газів (для вуглекислого газу – 1, метану – 25, закису азоту – 298).

З використанням розроблених підходів та геоінформаційних технологій побудовано окремі шари цифрових карт емісій парникових газів від різних категорій металургійної промисловості. На їх основі отримано результуючу структуру сумарних емісій (в CO_2-еквіваленті) на рівні воєводств, яку проілюстровано на рис. 2. Для верифікації результатів моделювання використано інформацію з польського національного звіту з інвентаризації парникових газів [4].

Оцінювання невизначеності результатів моделювання емісії парникових газів

Невід'ємною складовою при моделюванні емісійних процесів парникових газів є аналіз невизначеності отриманих результатів. При інвентаризації парникових газів під невизначеністю розуміють величину, яка вказує на відсутність визначеності в складових кадастру, спричинених випадковими факторами – невизначеністю джерел емісії, відсутністю прозорості інвентаризаційного процесу тощо. Невизначеності в оцінках емісій можуть виникати внаслідок недостатності знань про емісійні процеси, а також можуть бути спричинені похибками при зборі статистичних даних, недостатньою їх репрезентативністю тощо [5].

Для моделювання невизначеності оцінок емісії парникових газів використано статистичні дані з [8], [9], а їх невизначеності – з польського національного звіту з інвентаризації за 2012 рік [4]. Для коефіцієнтів емісії парникових газів від виробництва металів експертні оцінки меж невизначеностей та типи розподілів є невідомими, тому в роботі використано невизначеності за замовчуванням з традиційних методик інвентаризації МГЕЗК. При цьому вважаємо, що коефіцієнти емісії парникових газів розподілені за нормальним законом. Можемо зробити таке припущення, оскільки в промисловому секторі є невелика кількість категорій джерел емісії, невизначеності коефіцієнтів є відносно невисокими (в середньому 5 – 10%, в крайніх випадках 20 – 100%) і дуже рідко зустрічаються величини, розподілені за логнормальним законом.

Для аналізу невизначеностей оцінок емісій парникових газів від підприємств металургійної промисловості застосовано метод Монте-Карло [5]. Основний принцип

такого аналізу полягає у виборі та коректному моделюванні випадкових величин, що відповідають вхідним даним (коефіцієнтам емісії та даним про господарську діяльність), в межах їх розподілів ймовірностей та обчислення відповідних значень емісії. Цю процедуру потрібно повторити велику кількість разів і на основі отриманих результатів побудувати функцію щільності розподілу Для знаходження невизначеностей використано 95% довірчий інтервал – діапазон, в якому міститься істинне, але невідоме значення величини.

Для моделювання емісії парникових від кожного сталеплавильного заводу виконано 50 000 реалізацій методу Монте-Карло. В результаті виконання програми отримано вибірку можливих значень емісії вуглекислого газу, метану, закису азоту і сумарних емісій в CO_2-еквіваленті. На основі цієї вибірки було оцінено значення математичного сподівання для значень вибірки – шукані емісії, та ліва і права межі невизначеності оцінок цих емісій, що відповідають межам 95% довірчого інтервалу. На рис. 3 проілюстровано порівняльну діаграму величин емісії вуглекислого газу (CO_2), отриманих в результаті моделювання невизначеностей методом Монте-Карло та в результаті здійснення просторової інвентаризації. Аналіз невизначеності оцінок емісії здійснено для дев'яти заводів з виробництва сталі та з різними технологіями (конверторним способом – на двох підприємствах групи Arcelor Mittal, та електричним – на решту підприємствах).

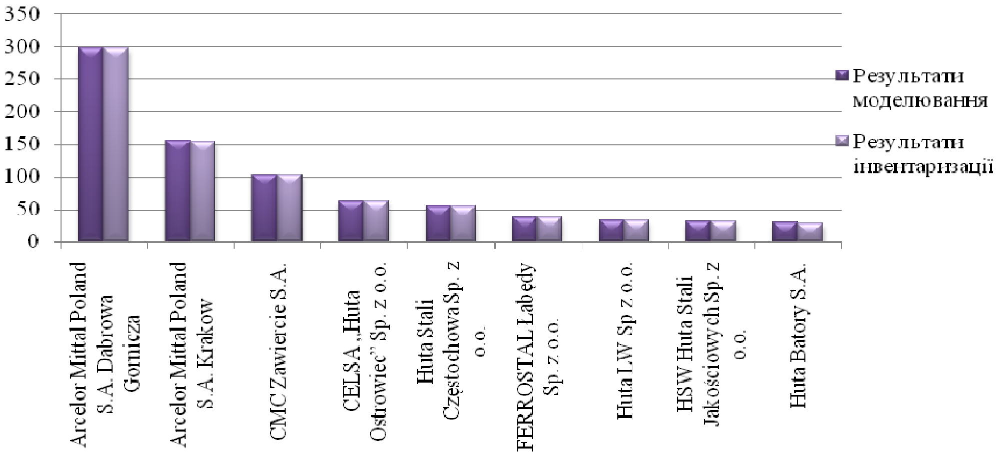


Рисунок 3 – Порівняльна діаграма результатів моделювання та інвентаризації емісій парникових газів для деяких підприємств з виробництва сталі у Польщі (CO_2-еквівалент, тис. тон, 2010 р.)

Висновки

Розроблені математичні моделі та геоінформаційна технологія їх реалізації дають можливість здійснити просторову інвентаризацію емісій парникових газів для промислових підприємств Польщі. Емісійні процеси в секторі «Промисловость» мають місце при виробництві промислової продукції, при цьому кожне підприємство можна представити точковим джерелом емісії парникових газів. Математична модель для такого джерела залежить від таких параметрів як: статистичної інформації щодо результатів промислової діяльності та специфічних коефіцієнтів емісії. В результаті аналізу доступної інформації сформовано геророзподілену базу вхідних даних, в якій кожному промисловому підприємству відповідає одне поле в базі даних. Проаналізовано найбільш промислово розвинуті регіони, виділено найбільші металургійні підприємства, ви-

значено їх географічне розташування за допомогою плагіна Google Earth та побудовано цифрові карти підприємств з виробництва чавуну, сталі, алюмінію, феросплавів тощо.

Математичні моделі програмно реалізовано з використанням геоінформаційних технологій. У результаті обчислювальних експериментів отримано оцінки емісій вуглекислого газу, метану та закису азоту в розрізі окремих категорій джерел, наприклад, по підприємствах з виробництва сталі. З використанням засобів геоінформаційної системи адміністративну цифрову карту ґмін Польщі «розрізано» допоміжною сіткою і сформовано множину елементарних ділянок території для потреб просторової інвентаризації. Сукупні емісії від виробництва сталі на рівні цих ділянок розраховано пропорційно до суми емісій від всіх сталеплавильних заводів, що містяться в цій ділянці, при цьому використано операцію приналежності для географічних об’єктів (точок та полігонів). Просторові кадастри емісій парникових газів від виробництва сталі по підприємствах представлено на рис. 1. Структуру сумарних емісій (в одиницях вуглекислого газу) в розрізі основних категорій джерел (чавуну та сталі, феросплавів, алюмінію, цинку та свинцю) відображено на рис. 2 для основних шести воєводств.

Як свідчать результати аналізу, територіальний розподіл джерел емісій є нерівномірний. Найбільше емісій зосереджено у Сілезькому воєводстві (4012,95 тис. тон), Малопольському (1410,94 тис. тон), Свентокшиському (86,68 тис. тон), Великопольському (71,96 тис. тон) та Мазовецькому воєводстві (3,58 тис. тон).
Результат інвентаризації, представлений у вигляді просторового кадастру, є корисним для владних структур при прийнятті стратегічних рішень щодо шляхів скорочення емісій парникових газів на відповідних територіях. Здійснено порівняльний аналіз результатів інвентаризації зі змодельованими значеннями емісій методом Монте-Карло. Роботи виконано в рамках проекту 7FP Marie Curie Actions IRSES project No. 247645.

Список літератури

1. Інформаційні технології формування кадастру емісій парникових газів Львівщини / Р.А. Бунь, Н.О. Шпак, Б.М. Матолич та ін.; за ред. Р.А. Буня та Н.О. Шпака. – Львів : Видавничий дім «Укрпол», 2010. – 272 с.
2. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, eds., IPCC, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan, 2006, 5 volumes.
3. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch2wb3.pdf
4. Poland’s National Inventory report 2012: Greenhouse Gas Inventory for 1988-2010. National Centre for Emission Management at the Institute of Environmental Protection. National Research Institute, Warszawa, May 2012.
5. Інформаційні технології просторової інвентаризації парникових газів у енергетичному секторі та аналіз невизначеності / Р.А. Бунь, Х.В. Бойчук, А.Р. Бунь, М.Ю. Лесів. – Львів : ПП Сорока Т.Б., 2012. – 464 с.
6. Najlepsze dostepne techniki (BAT) wytyczne dla produkcji zelaza i stali. Huty zintegrowane. – Ministerstwo Srodowiska. Warszawa, luty 2005 r.
7. Najlepsze dostepne techniki (BAT) wytyczne dla produkcji stali. Stalownie elektryczne z odlewaniem stali. – Ministerstwo Srodowiska. Warszawa, luty 2005 r.
8. Produkcja wyrobów przemysłowych w 2010 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2012. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу – http://www.stat.gov.pl/gus/przemysl_bud_PLK_HTML.htm
9. Rocznik Statystyczny Przemysłu 2011. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://stat.gov.pl/gus/5840_3921_PLK_HTML.htm
10. Bieda B. Life cycle inventory processes of the ArcelorMittal Poland (AMP) S.A. in Krakow, Poland—basic oxygen furnace steel production / B. Bieda // Int J Life Cycle Assess. – 2012. - – V. 17. – P. 463-470.
11. Rainer R. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for Iron and Steel Production. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU. Integrated Pollution Prevention and Control // Rainer Remus, Miguel A. Aguado-Monsonet, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho. – Joint Research Centre, 2013.

References

1. Bun R., Shpak N., Matolych B., Boychuk Kh., Dmytriv K., Yaremchyshyn O. Information technologies for creation of cadastre of greenhouse gas emissions of Lviv region; Lviv, „Ukrpol" Publishing House, 2010, 272 pp.
2. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / H.S.Eggleston, L.Buendia, K.Miwa, T.Ngara, K.Tanabe, eds., IPCC, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan, 2006, 5 volumes.
3. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Available online at: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch2wb3.pdf
4. Poland's National Inventory report 2012: Greenhouse Gas Inventory for 1988-2010. National Centre for Emission Management at the Institute of Environmental Protection. National Research Institute, Warszawa, May 2012
5. Information technologies for spatial inventory of greenhouse gases in energy sector and uncertainty analysis / R. Bun, Kh. Boychuk, A. Bun, M. Lesiv. – Lviv : PP Soroka T.B., 2012. – 464 pp.
6. Najlepsze dostepne techniki (BAT) wytyczne dla produkcji zelaza i stali. Huty zintegrowane. – Ministerstwo Srodowiska. Warszawa, luty 2005 r.
7. Najlepsze dostepne techniki (BAT) wytyczne dla produkcji stali. Stalownie elektryczne z odlewaniem stali. – Ministerstwo Srodowiska. Warszawa, luty 2005 r.
8. Produkcja wyrobów przemysłowych w 2010 r. Glowny Urzad Statystyczny, Warszawa, 2012. – Available online at: http://www.stat.gov.pl/gus/przemysl_bud_PLK_HTML.htm
9. Rocznik Statystyczny Przemysłu 2011. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2012. – Available online at: http://stat.gov.pl/gus/5840_3921_PLK_HTML.htm
10. Bieda B. Life cycle inventory processes of the ArcelorMittal Poland (AMP) S.A. in Krakow, Poland—basic oxygen furnace steel production / B. Bieda // Int J Life Cycle Assess. – V. 17. – P. 463-470.
11. Rainer R. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for Iron and Steel Production. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU. Integrated Pollution Prevention and Control // Rainer Remus, Miguel A. Aguado-Monsonet, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho. – Joint Research Centre, 2013.

RESUME

N.V. Charkovska, R.A. Bun

Analysis of Uncertainty of the Results of Modeling of Greenhouse Gas Emissions Processes from Metal Production in Poland

In given article the main categories of GHG emissions sources due to IPCC Metal Production subsector of Industrial Processes sector have been considered. We assumed that large metal production plants are point-type emission sources. For needs of emission modeling and GHG estimates the respective mathematical models of GHG emission processes for each category have been developed. Such models for one point-type emission source depend on input data: statistical information on amounts of metal production and specific emission factors.

Mathematical models and geoinformation technology of their implementation give the possibility to carry out spatial GHG emission inventory for Polish industrial enterprises. In the result of numerical experiments the estimates of emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide for each individual category of emission sources, for instance, on the level of crude steel production plants have been obtained. The results of spatial inventory of greenhouse gases from steel production in basic oxygen and electric arc furnaces is presented as a layer of digital map. Structure of total emissions (in CO_2-eqv.) by major categories of emission sources (iron and steel, ferroalloys, aluminum, zinc and lead) is presented on the level of voivodeships. Analysis of the obtained results revealed that the territorial distribution of emission is uneven. The liders on the GHG emission from metal industry are Silesian and Lesser Poland voivodeships.

The software tools for the assessment of the uncertainty of greenhouse gas emissions by Monte-Carlo method have been developed. Comparative analysis of simulation and inventory results for nine steel production plants showed that at large number of implementation of Monte-Carlo method (approximately 50000 realizations) error is negligible (1.29%). The results of GHG spatial inventory are presented as the layers of digital maps and can be used by authorities in the planning of the environmental development of the individual regions and the reduction of greenhouse gas emissions in the respective territories.

Статья поступила в редакцию 02.04.2014.